

緑内障などの眼疾患による視野障害からの 交通事故リスク推定法の確立

— 平成 27 年度（中間報告） タカタ財団助成研究論文 —

ISSN 2185-8950

研究代表者 朝岡 亮

研究実施メンバー

研究代表者 東京大学 医学部 附属病院眼科

朝岡 亮

報告書概要

両眼視野推定法

目的：優位眼によって補正を行い linear scale 表示した単眼視野を用いると両眼視野予測値が改善されるか検討すること。

方法：開放隅角緑内障 30 人 60 眼。単眼視野または両眼視野測定にはハンフリー視野検査 24-2 SITA-standard を用いた。優位眼測定は両眼とも二回ずつ行い、平均値を解析に用いた。測定された両眼視野は、以下の 4 つの方法を用いて単眼視野から予測を行った。

① IVF method, ② monocular sensitivity summation methods on the dB scale, ③ linear scale (1/Lambert), ④ monocular sensitivity summation methods on the linear scale adjusted for the ocular dominance

結果：絶対値で表示した測定誤差は、linear scale (mean±SD: 3.11 ± 4.00) が、IVF method (3.15 ± 4.09) よりも有意に小さかった。($p = 0.014$) さらに、優位眼によって補正した方法 (3.10 ± 3.99) が、補正しない方法よりも優位に測定誤差が有意に小さくなった。($p = 0.014$) the dB scale summation method (8.15 ± 5.06) は、他の方法よりも測定誤差が大きくなった。($p < 0.0001$)

まとめ：最も正確な両眼視野予測は、優位眼補正を行った linear scale を用いることである。

交通事故と視機能の関連

191 例の緑内障例に交通事故に関する聞き取り調査を行った。この結果を利用して、視力、両眼視野、年齢、性別、body mass index のうち、交通事故歴に関連があるのは、悪い方の眼の視力であった。

今後への展望

Linear scale を用いた加算法により推定される両眼視野と交通事故の関連を解析すること。更に、種々の機械学習法なども駆使してより正しく交通事故リスクを予見できるか検証すること。

第1章

はじめに

1.1 研究背景

自動車事故による死亡者、死傷者は数年前から減少してきているものの、2009年の自動車事故による死亡者は5744人、死傷者は100万人以上で、いまだ多くの人が自動車事故の犠牲になっている。近年になって眼疾患による視機能障害と交通事故の関連が注目されており、眼疾患の交通事故に与える影響を解析することは重要であると考えられる。

緑内障の本邦における有病率は40歳以上の約5%であり、また本邦における中途失明の原因として最も多いものである。本研究では最も代表的な眼疾患の一つである緑内障における、視機能障害と交通事故の関連を解析した。

緑内障患者は当然通常両眼を解放した状態で生活している。これまでの研究から両眼視野が視覚生活障害度（Quality of Visual Life）QoVと関連していることが分かっている。例えば、QoVLとEsterman視野検査で測定された両眼視野との間に強い相関関係があることが以前より報告されている。[1-7] 従って、交通事故と視野の関連を解析する際にも当然両眼視野を用いるべきである。Esterman両眼視野は、Humphrey視野計（HFA；Zeiss-Humphrey Systems, Dublin, CA）やOctopus 900（Haag-Streit, Koniz, Switzerland）などの静的自動視野計を用いて測定を行われるが、医療現場において両眼視野が測定されることはほとんどなく、多くの施設で単眼視野を測定し、機能評価を行っている。その結果として、単眼の視野を統合した推定両眼視野（IVF）が用いられている。[8-11] IVFは、片眼ずつの視野検査結果を比較した際に、対応した片眼の視野検査点から、より感度の高い閾値

を両眼視野感度として採用する。以上を全ての検査点おいて行い、両眼視野を構築する。緑内障性視野欠損において、IVFはEsterman視野と近似することが報告されており、英国では緑内障患者の運転適性評価にも用いられている。[9,11] さらに、IVFは、Esterman視野よりも緑内障患者におけるQoVLの悪化と密接に関連していることが示されており、緑内障患者におけるQoVL評価の際に、多くの研究でIVFが用いられている。[3,11-21] 我々は、過去に、より良い感度で構成する方法とIVFの間に違いがあることを報告した。[22]

Nelson-Quiggらは、IVFは両眼加算モデル(数式; S^R と S^L は、それぞれdB表記された右眼と左眼の単眼ずつの感度を示している。[17])と比較すると、より妥当な両眼視野予測が可能であろうと報告している。[23] しかしながら、両眼加重モデルの計算の際に、単眼の視野感度がdB表記かlinear表記のどちらを用いられるべきなのか検討されていない。この分野で広く引用されている両眼加重モデルであるMichelsonモデル[24]においては、linear brightness表記を用いている。[25-28]

過去のどのモデルも、両眼加算の際に、眼優位性は考慮されていない。両眼視野闘争は、両眼に異質の視標を見せた場合に起こる視覚の現象である。この際、それぞれの眼で知覚したイメージは重ね合わせて構築されるわけではなく、片眼からイメージを抑制することによって、左右眼どちらかのイメージを交互に知覚している。[29] 緑内障においては、左右眼で対応した箇所の視野感度が、大きく異なる場合において、この両眼視野闘争が起こっている可能性がある。眼優位性は、両眼でのイメージの抑制頻度の違いの結果である。[30] 我々は眼優位性を考慮することで両眼視野評価法が改善されるのではないかと考えた。

更に、これまでに例えばドライビングシミュレーターを用いた結果と IVF の関係を調べた研究などは報告されているが、実際の交通事故歴と、視機能の関連を詳細に調べた報告は無い。この研究のもう一つの目的は、緑内障患者において、実際の交通事故歴を聴取し、視機能と交通事故の関連を詳細に調べ、視機能計測値から交通事故リスクを予測することが可能であるかを検証することである。

1.2 目的

この研究の最初の目的は、**linear** 表記での単眼視野感度を用いる方法や眼優位性での補正を行うことによって、より正確な両眼視野予測が可能かどうか調べることである。

これまでに例えばドライビングシミュレーターを用いた結果と IVF の関係を調べた研究などは報告されているが、実際の交通事故歴と、視機能の関連を詳細に調べた報告は無い。この研究のもう一つの目的は、緑内障患者において、実際の交通事故歴を聴取し、視機能と交通事故の関連を詳細に調べ、視機能計測値から交通事故リスクを予測することが可能であるかを検証することである。

第2章

方法

2.1 両眼視野推定法

この研究は、東京大学医学部附属病院の倫理規定委員会において承認され、対象となった患者から、本研究参加の承諾書を書面により取得した。本研究は、ヘルシンキ宣言に

従って行われた。

・対象

緑内障患者 30 名 (開放隅角緑内障 : 9 名, 正常眼圧緑内障 : 18 名, 落屑緑内障 : 3 名) を対象とした。全ての患者は東京大学附属病院にて治療を受けており, 以下の基準を満たした症例を対象とした。(1) 20 歳以上 (2) 緑内障が, 視野欠損や視野障害の唯一の障害であること。(3) 最低 6 ヶ月間, 眼圧と視野が安定していること。(4) 以下に示すアンダーソン・パテラ基準で規定された緑内障性視野欠損があること; パターン標準偏差確率プロットにおいて, 確率 5% 以下を示す点が 3 つ, またはそれ以上の連続した場合, または半視野において確率 1% 以下の点の一つあること.; 5% 以下の出現確率を示すパターン標準偏差; 緑内障性半視野テストで正常範囲外。(6) 視力が 6/12 (0.5) 以上であること。(7) 線維柱帯切除術や屈折手術を含む眼手術は含まない。(白内障摘出術, 線維柱帯切開術は除く。)

・視野検査

全ての被験者に, ハンプリー視野検査 (HFA ; Carl Zeiss, Dublin, CA) 24-2 Swedish Interactive Threshold Algorithm (SITA) を施行した。固視不良 (FL) が 25% 以上, または偽陽性 (FP) が 15% 以上の視野検査は除外した。偽陰性 (FN) は上記の除外項目に含めなかった。[31] 両眼視野検査は, コンタクトレンズにて近見屈折矯正を行った。全ての患者は過去に最低二回の視野検査を経験していた。両眼視野検査では, FL, FP, FN を測定することはできないので, 同一の検者が全ての検査において固視監視を行った。全ての視野検査と両眼視野検査は同日に行われ, それぞれ最低 15 分の休憩をはさんで実施された。また,

視野検査はランダムに実施され、必要に応じて検査中でも休憩をとった。ハンフリー視野検査 24-2 における 48 点を解析に用いた。

・優位眼計測(図 1)

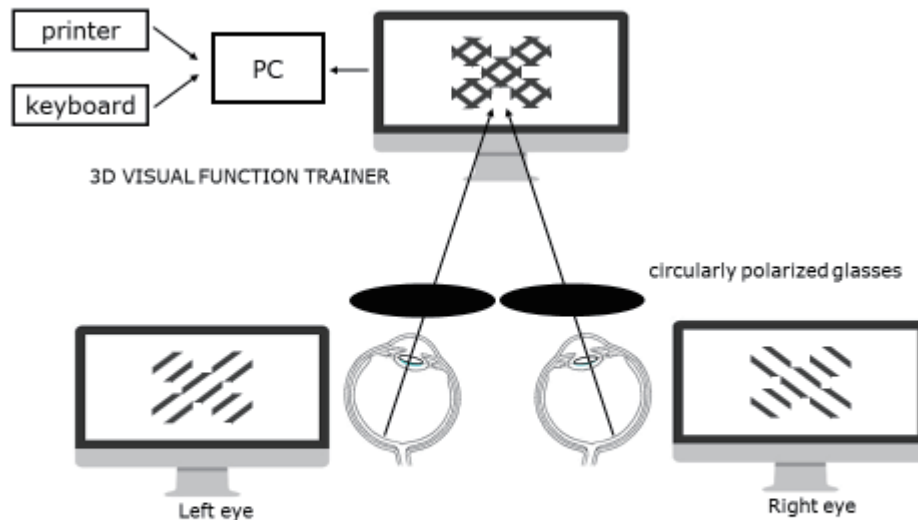


Figure 1

全ての刺激は、VisageSage (3D VISUAL FUNCTION TRAINER; JAPAN FOCUS CO.,LTD., Tokyo, Japan)を用いて、24 インチ LCD モニター (P240W; HYUNDAI, Korea; pixel solution, 1980 × 1200)によって制御された。

刺激装置は、VisageSage (3D Visual Function Trainer; Japan Focus Co.,ltd., Tokyo, Japan)が用いられた 24 インチ LCD モニター(P240W; HYUNDAI, Korea; pixel solution, 1980 × 1200)を使用した。128RGB(52.3 cd/m², モニターの中央にて測定)に調整された背景光に、刺激を提示した。

優位眼計測では、右眼と左眼は円偏光眼鏡によって分離された。本研究で使用されたディスプレイは、片眼に奇数行のピクセルから映し出された像を見せ、もう片眼に偶数行のピクセルからの像を見せた。右眼と左眼に異なったイメージを見せることで立体的な視標刺激を行った(図2)。

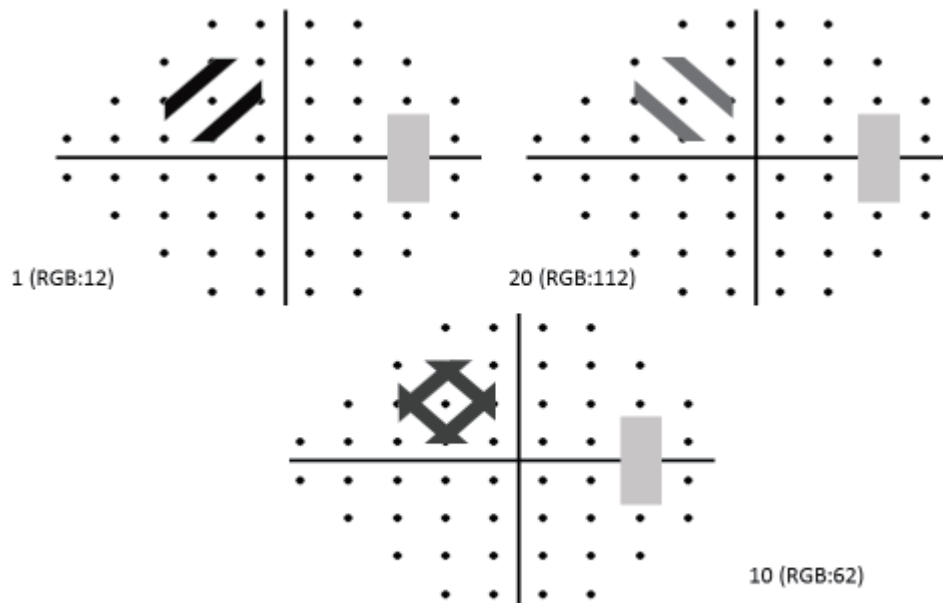


Figure 2

左円偏光眼鏡レンズには、左巻きの円偏光のみが通過し、右眼には右巻きの円偏光のみが通過する。左斜めの線は右眼のみが知覚し、右斜めの線は左眼のみが知覚することとなる。

刺激は、視角 12° のサイズに 2cycle per degree (cpd) である。刺激のコントラストは等間隔で 20 段階 (20: 112 RGB (39.36 cd/m^2), 1: 12 RGB (0.6 cd/m^2)) 変化させることが可能である。

刺激光は、反時計回り (LH) の円偏光刺激を左視野から、また時計回り (RH) の円偏光刺激を右視野から刺激した。つまり、左の偏光眼鏡レンズには LH の刺激光のみが、右の偏光眼鏡レ

ンズには RH の刺激光のみが通過し、投影されることになる。結果として、右上から左下にかけて流れる黒色の線のみが右眼に知覚され、左上から右下にかけての黒線が左眼にのみ知覚されることになる。刺激サイズは 12degree, 2cycle per degree の長方形であった。刺激光は、20(112 RGB (39.36 cd/m², モニター中央にて測定)から 1(12 RGB (0.6 cd/m², モニター中央にて測定)の計 20 段階でコントラストが変更可能であり、優位眼計測中、20 段階の範囲の中からコントラストを変化させ、優位眼計測を行った。優位眼計測は、中央、右上、右下、左下、左上の計 5 か所での計測を行い、各測定点で同じ刺激サイズを用いた。刺激配置は図 3 に示した。

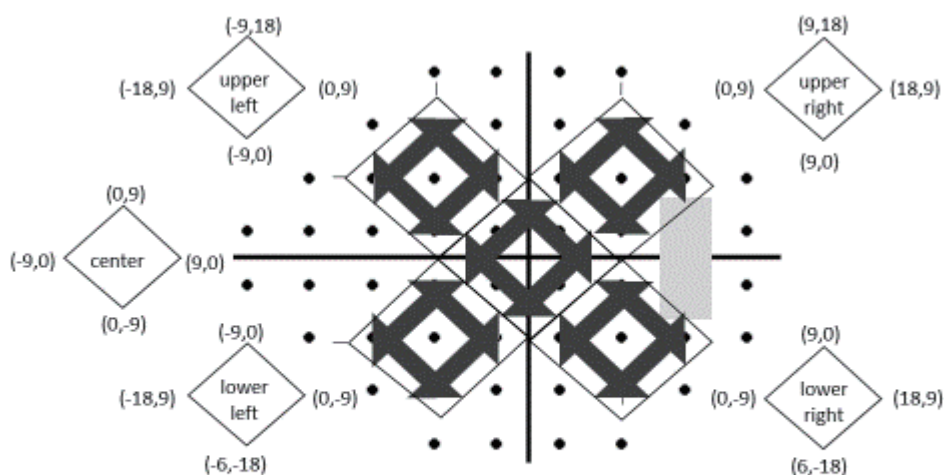


Figure 3

優位眼測定は、中央、左斜め上、右斜め上、左斜め下、右斜め下の計 5 か所で行った。優位眼測定の中央測定点は、視野検査における [3, 3], [3, -3], [-3, 3] と [-3, -3] のエリアになるように調整した。他の優位眼測定点は、それぞれの視野象限に合うように調整した。

被験者は右斜め(45°)と左斜め(135°)に提示されたディスプレイから50cmの距離で検査を行った。

被験者への検査説明の後、デモンストレーションと訓練を行い、それぞれの検査間に、5分間の休憩をはさみ2回ずつ行った。非検査眼がRGB 10で固定されている刺激に対して、被検査眼のコントラストをRGB10に近づけるように、手元にあるボタンを押し、モニターに表示された刺激コントラストを変化させる。両眼のコントラストが一致したと認識した数値を測定する。2回の測定の平均値を解析に用いた。50cmの距離に焦点が合うように+2.0Dの球面レンズを用いて屈折矯正を行った。優位眼検査中、同一の検者によって固視や顔の位置などを監視した。

視野検査において感度閾値のより低い検査点の優位眼(K)は、感度閾値の低い側の優位眼の値(Dominance_{worse})を用いて求めた。

$$: k = \frac{\text{Dominance}_{\text{worse}} - 10}{20}.$$

・統計解析

優位眼の再現性は急内相関係数(ICC)と相関係数(CV)を用いて評価した。

両眼視野感度測定誤差は、以下の方法・モデルを用いて計算を行った。

Model 1 (IVF method): 両眼視野を比較した際に、より良い感度の検査点によって構成 [8-11]

Model 2 (dB scale summation): $\sqrt{(\text{better sensitivity (dB)})^2 + (\text{worse sensitivity (dB)})^2}$

Model 3 (linear scale summation):

$$10 \times \log \left(\sqrt{\left(\text{better sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2 + \left(\text{worse sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2} \right)$$

dB 表記を, $10^{(\text{sensitivity in dB})/10}$ を用いて linear scale に変換.

Model 4 (優位眼で補正を行った linear scale summation):

($k \geq 0$ の場合)

10 x log

$$\sqrt{\left(\text{better sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2 + \left(\text{worse sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2 + (k * \text{worse sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right))^2 / (2 + k^2)}$$

($k < 0$ の場合)

10 x log

$$\sqrt{\left(\text{better sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2 + \left(\text{worse sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right) \right)^2 + (k * \text{worse sensitivity} \left(\frac{1}{Lambert} \right))^2 / (2 + k^2)}$$

モデル 1-4 各々の絶対測定誤差(The absolute prediction error)を, 線形混合モデルを用いて, 比較検討を行った. 全ての解析は解析プログラミング言語 ‘R’ (R version 3.1.3; The Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)を用いた.

2.2 交通事故と視機能の関連

・症例

40 歳以上 85 歳以下の緑内障患者に以下の調査を行った。視野の信頼性指標には固視不良 20%未満、偽陽性 15%未満を使用した。[31] 使用した緑内障の定義は以下の通りである。

(1) 緑内障性視神経乳頭障害 (ノッチ形成、乳頭陥凹拡大、視神経線維層欠損など) の存在、(2) アンダーソンパテラ基準を満たす視野障害の存在 [15]、(3) 開放隅角。

- ・除外基準

緑内障以外に視野異常を来しうる眼疾患の存在。矯正視力（0.7）以下，運転免許非保持ないし一週間の運転距離 1km 以下、質問内容の理解不能者。

この結果、当初スクリーニングされた 431 人の緑内障例のうち、204 名が研究から除外された；研究参加拒否（3），痴呆（2），他眼疾患合併症（55），運転免許非保持（88），週の運転距離 1km 以下（56）。この結果、227 例が本研究に参加した。

- ・交通事故歴等聴取

以下の項目について聴取が行われた。

- (1) これまでに何年運転したか
- (2) 週に何 km 運転するか
- (4) 過去 5 年に何回交通事故に遭遇したか

その他に、飲酒歴，喫煙歴，眠剤使用，トランキライザー使用歴などが聴取され，また身長，体重も測定された。

その後 3 年に亘って交通事故の遭遇の有無の追跡が行われた。

- ・視野検査

通常の臨床現場と同様にハンフリー視野計を用いた片眼視野検査を行い，各々の結果から IVF 法を用いて両眼視野を推定した。

- ・統計解析

年齢, 過去の交通事故歴, 良い方の視力, 悪い方の視力, body mass index, 性別, IVF 平均正常者平均調整感度 (IVFMD), のうち交通事故の有無と関連する因子を多項式ロジスティック解析を用いて解析した. 全ての解析は解析プログラミング言語 ‘R’ (R version 3.1.3; The Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)を用いた.

第3章

結果

3.1 両眼視野推定法

対象患者のデモグラフィックスは表1の通りである.

Demographics	Value
Age, mean \pm SD	58.2 \pm 10.9
Sex (male: female)	16:14
VA (LogMAR)	0.0 \pm 0.09
MD in better eye, dB, mean \pm SD	-5.6 \pm 5.4
MD in worse eye, dB, mean \pm SD	-10.3 \pm 5.4

Table 1

SD : 標準偏差, VA : 視力, MD : 平均

Dominance_{better} (11.4 \pm 3.7: 平均 \pm 標準偏差 (SD)) は Dominance_{worse} (11.2 \pm 3.9) より有意に良かった ($p = 0.004$). Dominance_{better} と Dominance_{worse} の ICC は, それぞれ 0.66 と 0.63 だった. また, Dominance_{better} と Dominance_{worse} の CV は 19.6 \pm 20.8 and 22.8 \pm 21.4 % だった.

それぞれのモデルにおける測定誤差は, 表 2 に示した.

method	absolute prediction error
Model 1 (IVF method), median [95% CI]	3.15 ± 4.09*
Model 2 (dB scale summation), median [95% CI]	8.15 ± 5.06**
Model 3 (linear scale summation), median [95% CI]	3.11 ± 4.00*
Model 4 (linear scale summation with weight for worse sensitivity), median [95% CI]	3.10 ± 3.99

Table 2

RMSE : 二乗平均平方根誤差, CI : 95%信頼区間,

* と**: Model 4 と比較したとき, Model 4 に対し $p < 0.05$ と $p < 0.01$ (線形混合モデル)

Linear scale summation method ; Model 3 (3.11±4.00)は, IVF method ; Model 1 (3.15±4.09)より有意に誤差が小さかった ($p = 0.014$, 線形混合モデル). 優位眼によって補正した linear scale summation method ; Model 4 (3.10±3.99)は, Model 3 よりも優位に誤差が小さかった ($p = 0.014$, 線形混合モデル). dB scale summation method (Model 2: 8.15±5.06)の RMSE は, Method 1, 3, 4 よりも優位に大きかった. ($p < 0.0001$, 線形混合モデル)

3.2 交通事故と視機能の関連

227例の内、191例(84.1%)は3年の経過観察を終え、この年齢は 63.7 ± 10.2 歳 [平均 \pm 標準偏差 (S.D.)]で、141例は男性、50例は女性であった。191例の内、44例(23.0%)はエントリー時の交通事故既往があり、28例(4.9%)は、追跡期間内に交通事故を起こした。悪い方の眼の視力は、交通事故なし群(0.013 ± 0.04 , in LogMAR)よりもあり群(0.026 ± 0.04 , $p=0.01$)の方が有意に悪かった。良い方の眼の視力、IVFMD、年齢、性別、Body mass index に、両群間に差はなかった。多項式ロジスティック回帰の結果も同様に、悪い方の眼の視力のみが交通事故に関連していて (coefficients: 19.6, $p = 0.0034$)、良い方の眼の視力、IVFMD、年齢、性別、Body mass index は有意に関連していなかった ($p > 0.05$, Mann-Whitney U-test)。

	MVC + (mean ± s.d.)	MVC - (mean ± s.d.)	P value
N	28	163	
年齢 (years)	66.9 ± 11.4	63.1 ± 9.6	0.07
性別 (male/female)	20/8	121/43	0.76
B.M.I	22.4 ± 2.5	22.7 ± 3.0	0.65
良い眼の視力 (LogMar)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.02	0.26
悪い眼の視力 (LogMar)	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.003	0.01
良い眼の MD (dB)	-3.0 ± 4.0	-2.5 ± 4.0	0.35
悪い眼の MD (dB)	-7.1 ± 7.2	-7.0 ± 6.2	0.92
IVF-MD (dB)	-2.1 ± 3.9	-1.6 ± 3.7	0.52
緑内障進行度 (早期/中期/ 新後記)	18/4/6	88/42/33	0.52
過去の MVCs (Yes/No)	32.1%=9/28	21.5%=35/163	0.23
週の運転距離 (km)	107.9 ± 180.5	98.3 ± 89.2	0.12

Table 3. MVC + グループと MVC-グループの比較 .

Variable	Coefficient	Std. Error	P
年齢	0.043305	0.024268	0.0744
良い眼の視力	19.59581	6.68125	0.0034
悪い眼の視力	-452.12236	138446.52478	0.9974
BMI	-0.099944	0.084664	0.2378
性別（女性）	0.060366	0.50413	0.9047
IVFMD	-0.055465	0.061179	0.3646
過去の MVCs	0.76108	0.47716	0.1107

Table 4 多項式ロジスティック回帰の結果

第4章

考察

- ・両眼視野推定法について

本研究では、単眼視野と優位眼を用いて両眼視野を評価した。両眼視野測定は閾値感度の高い測定点 (better eye VF sensitivity)、閾値感度の低い測定点 (worse eye VF sensitivity) と閾値感度の低い眼の優位眼値 (the dominance value of the test location with worse sensitivity) を用いることでより正確な予測が可能となった。

緑内障性視野障害は QOL の悪化と深く関連しているために[2, 32], 両眼視野を推定することは医学的にとても重要である. 我々は両眼を使って周囲の状況などを知覚することで日常生活を送っているにもかかわらず, 医学的には片眼視野のみを評価している. 単眼視野を用いて両眼視野を評価する方法としていくつかの方法が試みられている. その中で, IVF 法は両眼視野を推定する際に, 多く使用されている方法であり, また簡便な方法のひとつである.[17] Model 2 と密接に関連していることも報告されている. しかしながら過去の報告では, 両眼視野を推定する際に, dB 表記を用いるのかまたは Lambert 表記を用いるべきなのかは検討されていない. 過去の 2 つの報告では[26], 単眼または両眼のコントラスト感度は, linear 表記を用いて検討されており (Michelson model[24] (Michelson model ; $\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$, L_{max} と L_{min} は最大または最少輝度を示している), 本研究の結果と一致する. 本研究で我々は, 両眼視野感度が better sensitivity と密接に関連し, また linear 表記モデルを用いた時により正確に予測できることを示した. 驚くことに過去の報告[17]とは対照的に, dB 表記モデルを用いた時, より大きな測定誤差が生じることが分かった.

また興味深いことに, 最も正確な両眼視野予測の方法は, 優位眼によって補正された linear scale summation を用いたときであることが分かった. 予測誤差の改善は僅かではあったが, 統計的には有意であった. この差が両眼視野予測に与える影響は, 今後の検討としたい. 機械学習法[18, 21]を用いることで緑内障の QOL はより良い予測が可能になることが既報されている. つまり, 予測誤算における誤差を検討することで, より正確な QOL 評価を可能にする.

臨床現場において、優位眼測定を行うことは難しい。したがって、優位眼補正を行わない linear scale summation model は、臨床現場においてより適している方法なのかもしれない。ICC 値や CV 値から示唆されるように、測定した優位眼の再現性はどちらかと言えば低かった。今後、優位眼計測数をさらに増加させることによって Model 4 の両眼視野予測精度をさらに上げることが可能か検討すべきである。さらに、瞳孔径などの他の要因が、両眼加重に影響を与える。[23] より大きな集団を用いて、本結果を再考すべきである。

IVF method や dB scale summation よりも linear scale summation を用いた評価法がより正確であった。さらに優位眼で補正を行うことで、より正確な両眼視野予測が可能になった。

- ・交通事故と視機能の関連について

これまでの過去の研究結果では、運転中の視線の動きを追跡した結果から、上方周辺部の視野障害は交通事故のリスクと関連があるとされてきた。[33] しかし、今回の実際の交通事故歴との関連の研究の結果は、視野よりも視力の良悪が、交通事故と関連するという結果であった。

本研究の前半部で両眼視野を推定する場合にはこれまでのような IVF 法 (dB scale summation method) でなく、linear scale summation method を用いた方が良いことが明らかとなった。眼優位度を用いると更に正確に推測可能であるが、dB scale summation method と linear scale summation method の改善度に比較するとかなり小さい差であった。

本研究の二年目年度においては、交通事故と視野の関連を調べる際に、linear scale summation method を用いて推定した両眼視野を使用して再検討する必要があると思われた。

第5章

まとめと今後の課題

本研究により、両眼視野を推定する場合にはこれまでのような IVF 法 (dB scale summation method) でなく、linear scale summation method を用いた方が良いことが明らかとなった。眼優位度を用いると更に正確に推測可能であるが、dB scale summation method と linear scale summation method の改善度に比較するとかなり小さい差であった。また、今回の実際の交通事故歴との関連の研究の結果は、視野よりも視力の良悪が、交通事故と関連するという結果であった。

本研究の二年目年度においては、交通事故と視野の関連を調べる際に、linear scale summation method を用いて推定した両眼視野を使用して再検討する必要があると思われた。更に、多項式ロジスティック回帰のような従来の方法のみならず、最近発展が目覚ましい各種機械学習法 (人工知能法) などの手法も取り入れ、より正しく交通事故を起こすリスクを推測するシステムの確立の検証が必要であると思われた。

引用文献

1. Parrish RK, 2nd, Gedde SJ, Scott IU, Feuer WJ, Schiffman JC, Mangione CM, et al. (1997) Visual function and quality of life among patients with glaucoma. *Arch Ophthalmol* 115: 1447-1455.
2. Nelson P, Aspinall P, Papasouliotis O, Worton B, O'Brien C (2003) Quality of life in glaucoma and its relationship with visual function. *J Glaucoma* 12: 139-150.
3. Jampel HD, Friedman DS, Quigley H, Miller R (2002) Correlation of the binocular visual field with patient assessment of vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 43: 1059-1067.
4. Jampel HD, Schwartz A, Pollack I, Abrams D, Weiss H, Miller R (2002) Glaucoma patients' assessment of their visual function and quality of life. *J Glaucoma* 11: 154-163.
5. Noe G, Ferraro J, Lamoureux E, Rait J, Keeffe JE (2003) Associations between glaucomatous visual field loss and participation in activities of daily living. *Clin Experiment Ophthalmol* 31: 482-486.
6. Turano KA, Rubin GS, Quigley HA (1999) Mobility performance in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40: 2803-2809.
7. Viswanathan AC, McNaught AI, Poinosawmy D, Fontana L, Crabb DP, Fitzke FW, et al. (1999) Severity and stability of glaucoma: patient perception compared with objective measurement. *Arch Ophthalmol* 117: 450-454.
8. Crabb DP, Viswanathan AC, McNaught AI, Poinosawmy D, Fitzke FW, Hitchings RA (1998) Simulating binocular visual field status in glaucoma. *Br J Ophthalmol* 82: 1236-1241.
9. Crabb DP, Fitzke FW, Hitchings RA, Viswanathan AC (2004) A practical approach to measuring the visual field component of fitness to drive. *Br J*

- Ophthalmol 88: 1191-1196.
10. Crabb DP, Viswanathan AC (2005) Integrated visual fields: a new approach to measuring the binocular field of view and visual disability. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 243: 210-216.
 11. Owen VM, Crabb DP, White ET, Viswanathan AC, Garway-Heath DF, Hitchings RA (2008) Glaucoma and fitness to drive: using binocular visual fields to predict a milestone to blindness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 49: 2449-2455.
 12. Coleman AL, Cummings SR, Yu F, Kodjebacheva G, Ensrud KE, Gutierrez P, et al. (2007) Binocular visual-field loss increases the risk of future falls in older white women. *J Am Geriatr Soc* 55: 357-364.
 13. Mills RP, Janz NK, Wren PA, Guire KE (2001) Correlation of visual field with quality-of-life measures at diagnosis in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study (CIGTS). *J Glaucoma* 10: 192-198.
 14. McKean-Cowdin R, Wang Y, Wu J, Azen SP, Varma R (2008) Impact of visual field loss on health-related quality of life in glaucoma: the Los Angeles Latino Eye Study. *Ophthalmology* 115: 941-948 e941.
 15. Coleman AL (2007) Sources of binocular suprathreshold visual field loss in a cohort of older women being followed for risk of falls (an American Ophthalmological Society thesis). *Trans Am Ophthalmol Soc* 105: 312-329.
 16. Rubin GS, Ng ES, Bandeen-Roche K, Keyl PM, Freeman EE, West SK (2007) A prospective, population-based study of the role of visual impairment in motor vehicle crashes among older drivers: the SEE study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 48: 1483-1491.
 17. Nelson-Quigg JM, Cello K, Johnson CA (2000) Predicting binocular visual field sensitivity from monocular visual field results. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 41: 2212-2221.

18. Murata H, Hirasawa H, Aoyama Y, Sugisaki K, Araie M, Mayama C, et al. (2013) Identifying areas of the visual field important for quality of life in patients with glaucoma. *PLoS One* 8: e58695.
19. Yuki K, Asaoka R, Tsubota K (2014) The relationship between central visual field damage and motor vehicle collisions in primary open-angle glaucoma patients. *PLoS One* 9: e115572.
20. Hirasawa H, Murata H, Mayama C, Araie M, Asaoka R (2014) Evaluation of various machine learning methods to predict vision-related quality of life from visual field data and visual acuity in patients with glaucoma. *Br J Ophthalmol* 98: 1230-1235.
21. Hirasawa H, Murata H, Mayama C, Asaoka R (2014) Validating the sumi quality of life questionnaire with rasch analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 55: 5776-5782.
22. Asaoka R, Crabb DP, Yamashita T, Russell RA, Wang YX, Garway-Heath DF (2011) Patients have two eyes!: binocular versus better eye visual field indices. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 52: 7007-7011.
23. Blake R, Fox R (1973) The psychophysical inquiry into binocular summation. . *Perception and Psychophysics* 14: 161-185.
24. Michelson AA (1927) *Studies in Optics*. NY, USA: Dover Publications.
25. Legge GE (1984) Binocular contrast summation--II. Quadratic summation. *Vision Res* 24: 385-394.
26. Legge GE (1984) Binocular contrast summation--I. Detection and discrimination. *Vision Res* 24: 373-383.
27. Blake R, Fox R (1973) The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception and psychophysics* 14: 161-185.
28. Kingdom FA, Baldwin AS, Schmidtmann G (2015) Modeling probability and additive

- summation for detection across multiple mechanisms under the assumptions of signal detection theory. *J Vis* 15: 1.
29. Burian MA, Noorden V (1980) *Physiology of the Sensorimotor cooperation of the eyes*. St. Louis, Missouri, USA: Mosby.
 30. Wade NJ (1998) Early studies of eye dominances. *Laterality* 3: 97-108.
 31. Bengtsson B, Heijl A (2000) False-negative responses in glaucoma perimetry: indicators of patient performance or test reliability? *Invest Ophthalmol Vis Sci* 41: 2201-2204.
 32. Ono T, Yuki K, Asaoka R, Kouyama K, Abe T, Tanabe S, et al. (2015) Glaucomatous visual field defect severity and the prevalence of motor vehicle collisions in Japanese: a hospital/clinic-based cross-sectional study. *J Ophthalmol* 2015: 497067.
 33. Crabb DP, Smith ND, Rauscher FG, Chisholm CM, Barbur JL, Edgar DF, et al. (2010) Exploring eye movements in patients with glaucoma when viewing a driving scene. *PLoS One* 5: e9710.